

Efectos de las emisiones de fluidos en la respuesta acústica de los fondos marinos del golfo de Cádiz

Effect of fluid emissions in the acoustic response on the seabed of the Gulf of Cádiz

P. Lozano (1), L.M. Fernández-Salas (2), J.L. Rueda (3), N. López-González (3), Y. Vila (2), F.J. López-Rodríguez (3), C. Farias (2), J.T. Vázquez (3) & V. Díaz del Río (3)

(1) Universidad de Cádiz, F. de Ciencias del Mar, Polígono Río San Pedro 11510, Puerto Real, Cádiz, Spain

(2) Instituto Español de Oceanografía, CO de Cádiz, Muelle Pesquero S/N, 11006 Cádiz, Spain

(3) Instituto Español de Oceanografía, CO de Málaga, Puerto Pesquero S/N, 29640 Fuengirola, Spain

Abstract: Advances in remotely-sensed techniques have revolutionized mapping methods and our understanding of the seabed environment. In particular, multibeam backscatter data nowadays allows developing quantitative studies on the composition of the seafloor, which represents an important baseline for habitat mapping. Usually, the acoustic response is considered as a direct proxy of sediment texture, but seepage could affect significantly this relationship. A multibeam data set from the Gulf of Cádiz, was grouped using an ISO-cluster analysis and results were compared with 80 ground-truthing stations taken inside and outside cold seepage areas. Results show significant differences between the acoustic response of sediments with the same texture depending on the presence/absence of fluid emissions. Understanding this relationship is necessary to make image-based backscatter classification that allows the production of sediment and habitat maps in areas with extensive fluid emissions such as the Gulf of Cádiz.

Key words: multibeam backscatter, sediment texture, granulometry, seepage, Gulf of Cádiz

1. INTRODUCCIÓN

El reciente desarrollo de tecnologías de teledetección ha cambiado la metodología de estudio de los fondos marinos. En particular, las ecosondas multihaz, que permiten obtener datos de batimetría y reflectividad simultáneamente, se han convertido en una eficaz herramienta para el cartografiado de los tipos de fondos marinos, mejorando la visión y gestión espacial de sus recursos y ecosistemas. En concreto la reflectividad, considerada como un indicador de primer orden de la naturaleza y composición del sustrato, permite obtener una valiosa información sobre el tipo de fondo, cuya caracterización constituye la base del cartografiado de hábitats marinos (Brown *et al.*, 2011). Generalmente, el tamaño de grano del sedimento muestra una relación directa con la reflectividad (Lamarche *et al.*, 2011), siendo el sedimento más fino el que presenta una reflectividad más baja y el más grueso el de mayor reflectividad. Sin embargo existen otros factores que pueden afectar a esta respuesta acústica, como son las emisiones de fluidos (Orange *et al.*, 2002; Naudts *et al.*, 2008), y que en determinadas zonas no pueden despreciarse. Una de ellas es el golfo de Cádiz, donde la migración vertical de fluidos y sedimentos fangosos cargados de gas, dan lugar a estructuras como volcanes de fango y *pockmarks* que podrían presentar una respuesta acústica que no se corresponde con

zonas de similar tipo de sedimento pero sin presencia de fluidos.

El objetivo de este trabajo es evaluar los efectos de las emisiones de fluidos en la respuesta acústica de los fondos marinos y comprobar si el enfoque clásico para la clasificación automática del sustrato es aplicable a esta zona o es necesario considerar el efecto de las emisiones en dicha relación.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende la zona conocida como Campo Somero de Expulsión de Fluidos y también una parte del Campo Profundo (Fig. 1). Ambas se encuentran en el talud superior y medio del margen español del golfo de Cádiz, entre 300 y 1.000 metros de profundidad. La zona está dominada por dos grandes dorsales diapíricas que cruzan casi en paralelo la zona en dirección NE-SO. Estos fondos marinos están fuertemente influenciados por la acción del flujo de salida del agua mediterránea profunda (MOW) que crea importantes depósitos contorníticos y canales, como el de Cádiz, Huelva y Gusano. Además, los procesos tectónicos y diapíricos en la zona favorecen la migración de fluidos que dan lugar a estructuras como los diapiros, *pockmarks* y volcanes de fango.

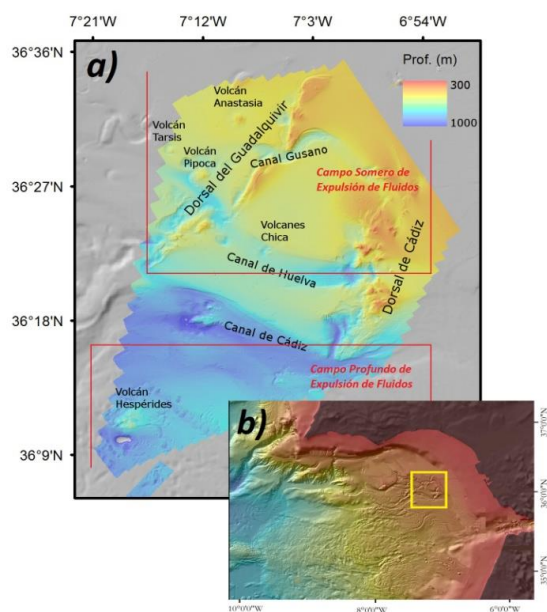


Fig. 1. A) Batimetría multihaz del área de estudio en el que se indican las principales unidades morfológicas de la zona. B) Situación del área de estudio en el golfo de Cádiz.

Esta diversidad de procesos es la causa de la compleja naturaleza de los fondos en esta zona que, a su vez, favorece el asentamiento de una gran diversidad de especies y hábitats, algunos de gran interés para la conservación, lo cual ha permitido recientemente la declaración de esta zona como Lugar de Interés Comunitario (LIC) en la Red Natura 2000.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Durante la campaña oceanográfica CHICA 0412, en el marco del proyecto LIFE+ INDEMARES y a bordo del B/O *Ramón Margalef*, se obtuvieron datos de batimetría y reflectividad del área de estudio (Fig.1) con una ecosonda multihaz SIMRAD EM170. La reflectividad se procesó con el algoritmo Geocoder del software CARIS v9.0. La superficie obtenida, con una resolución de 15 metros, se exportó al software ArcGIS 10.2.1 y se aplicó la herramienta *IsoCluster Unsupervised Classification* para englobar los datos en un número determinado de clases con una respuesta acústica similar. Esta herramienta considera la varianza y la covarianza en cada pixel para asignarle la clase a la que mayor probabilidad tiene de pertenecer. De esta forma se obtuvieron cinco clases acústicas: muy alta (de -131 a -125.5 db), alta (de -135 a -130 db), media (de -138 a -135 db), baja (de -141.5 a -138 db) y muy baja reflectividad (de -143 a -141.5 db) (Fig. 2a).

Se han analizado 80 muestras de sedimento, obtenidas mediante box corer y testigos de gravedad, en cinco campañas oceanográficas: CHICA 0211 (29 muestras), CHICA 0412 (19 muestras), ISUNEPKA 0814 (10 muestras), GC-86-2 (5 muestras) y GC-88-3 (17 muestras). Para el análisis granulométrico de los

sedimentos tomados en las campañas CHICA e ISUNEPKA 0814 se separó cada muestra en dos fracciones: la fracción gruesa ($> 63 \mu\text{m}$, arena y grava) analizada en seco mediante una columna de tamices, y la fracción fina ($< 63 \mu\text{m}$, limo y arcilla) analizada en un analizador de tamaño de partículas por rayos-X. La clasificación textural se realizó a partir de la representación gráfica del porcentaje en peso de las fracciones de grava, arena y fango (Fig. 2b), de acuerdo con el diagrama ternario de Folk (1954).

Las muestras sedimentológicas fueron georreferenciadas y representadas en ArcGIS 10.2.1s sobre el mapa de clases acústicas, diferenciando cada muestra en función de su situación (dentro o fuera) respecto a los volcanes de fango y diapiros. Utilizando la herramienta *Extract MultiValues to Points*, se obtuvo el valor de reflectividad y la clase acústica correspondiente a cada muestra de sedimento.

En primer lugar se trató de relacionar cuantitativamente la respuesta acústica con la naturaleza del sustrato, para lo que se estudió la relación entre el tamaño medio de grano en unidades phi y la reflectividad en decibelios en cada muestra (Fig. 3). Debido a la alta variabilidad de las muestras obtenidas sobre volcanes de fango y diapiros, se buscó una relación cualitativa y explicativa de la dispersión de datos. Para ello se dividieron las muestras en función de su grupo textural y se calculó la clase acústica media a la que pertenece cada grupo (Fig. 4).

3. RESULTADOS

Se han obtenido cinco clases acústicas, correspondiéndose las reflectividades clasificadas como altas y muy altas con las dorsales diapíricas, los volcanes de fango y la zona central del canal de Cádiz (Fig. 2a). Las clasificadas como media se localizan principalmente en la cara este de las dorsales diapíricas, y a la salida del canal Gusano, coincidiendo también con las zonas más someras. Las reflectividades bajas y muy bajas se sitúan al oeste de las dorsales diapíricas, especialmente entre los canales de Huelva y de Cádiz y al sur de este último, y en general en las zonas más profundas.

texturales: fango, fango arenoso, arena fangosa, arena, arena fango-gravosa y grava areno-fangosa (Fig. 2b). En el conjunto de muestras, dominan las de textura más fina, perteneciendo el 86% a las clases de fango, fango arenoso y arena fangosa. Este subconjunto de muestras se reparte homogéneamente por toda la zona, sin mostrar un patrón claro de distribución. Sin embargo, los sedimentos con mayor contenido en grava (14%) se encuentran principalmente sobre las dorsales diapíricas o en algunos volcanes de fango.

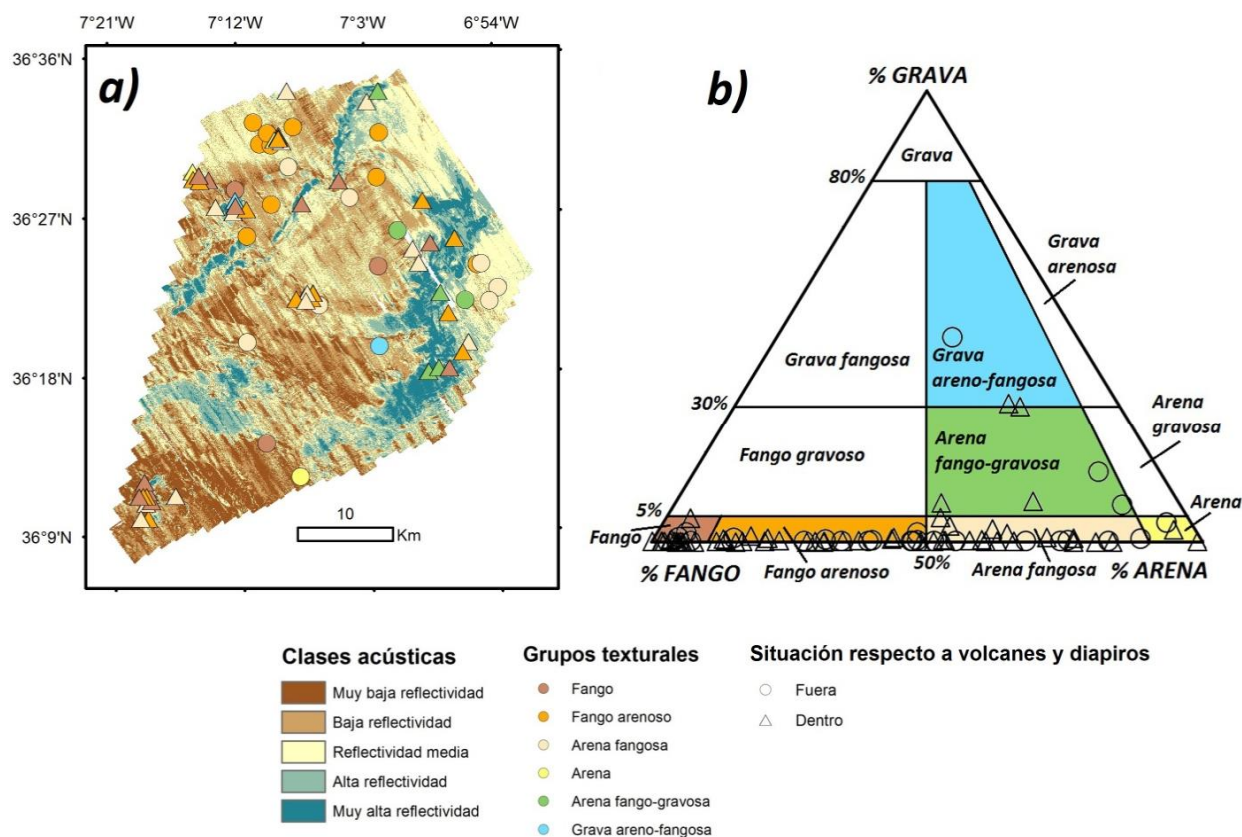


Fig. 2. A) Mapa de las clases acústicas establecidas en base a la reflectividad sobre el que se han representado las muestras de sedimento indicando el grupo textural (colores) y su situación dentro (triángulos) y fuera (círculos) de los volcanes de fango y diapiros. B) Clasificación textural de los sedimentos recolectados dentro (triángulos) o fuera (círculos) de los volcanes de fango y los diapiros.

Las muestras de sedimento pertenecen a seis grupos. La relación entre la reflectividad y el tamaño de grano de los sedimentos presenta una elevada dispersión. Las muestras tomadas fuera de los volcanes y diapiros

presentan reflectividades más bajas y su ajuste a una recta es mejor que el de las muestras tomadas dentro de estas estructuras, que presentan mayor reflectividad y una elevada dispersión (Fig. 3).

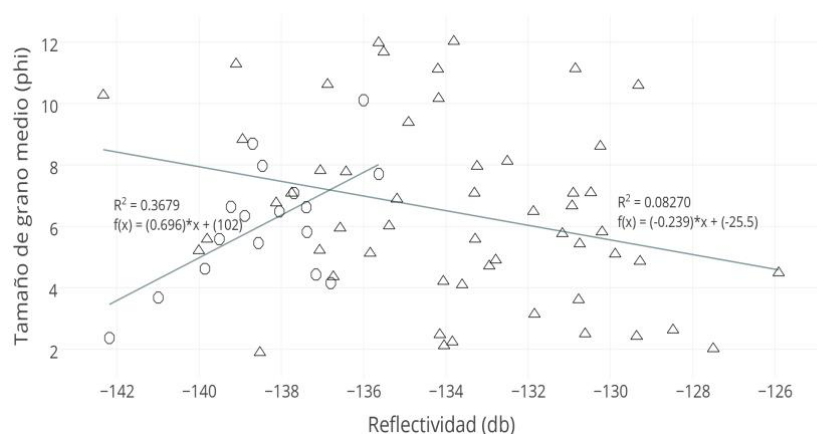


Fig. 3. Representación gráfica del tamaño medio de grano (ϕ) y la reflectividad calculada para cada muestra de sedimento tomada dentro (triángulos) y fuera de volcanes y diapiros (círculos).

Al calcular la clase acústica media de cada grupo textural usando el conjunto de muestras, se observa una reflectividad más alta de lo esperado en los grupos texturales más finos (Fig. 4). Al separar las

muestras en dos subconjuntos, es decir, muestras tomadas dentro y fuera de volcanes y diapiros, observamos que el grupo textural arena fangosa presenta una reflectividad media en los tres casos. Sin embargo, los dos grupos texturales más finos

(fango y fango arenoso) presentan importantes diferencias que se acentúan cuanto mayor es su contenido en fango. Las muestras situadas dentro de los volcanes y diapiros presentan una alta reflectividad para los dos grupos, mientras que las tomadas fuera de estas estructuras presentan una reflectividad baja y muy baja, siendo lo esperable para este tipo de sedimentos.

		CLASES ACÚSTICAS				
		MUY ALTA REFLECTIVIDAD	ALTA REFLECTIVIDAD	REFLECTIVIDAD MEDIA	BAJA REFLECTIVIDAD	MUY BAJA REFLECTIVIDAD
GRUPOS TEXTURALES	FANGO		Δ	□		○
	FANGO ARENOSO		Δ	□	○	
	ARENA FANGOSA			Δ □ ○		
	ARENA			□		
	ARENA FANGO-GRAVOSA		□	○		
	GRAVA ARENO-FANGOSA	Δ	□			

□ Todas las muestras Δ Dentro de volcanes y diapiros ○ Fuera de volcanes y diapiros

Fig. 4. Relación entre los seis grupos texturales identificados y la clase acústica media calculada para todas las muestras (cuadrados) y para cada subconjunto de muestras (triángulos en zonas de volcanes y diapiros y círculos fuera de estas estructuras).

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El bajo grado de relación y la elevada dispersión entre tamaño medio de grano y reflectividad (Fig. 3) representan una dificultad para aplicar esta aproximación de caracterización del fondo marino en zonas de expulsión de fluidos y, a su vez, remarca la alta heterogeneidad sedimentaria y ambiental de la zona.

Tanto las emisiones de fluidos como los carbonatos autigénicos provocan un aumento en la reflectividad del sustrato, anomalías en la respuesta acústica que han sido utilizadas para identificar zonas de emisiones (Orange *et al.*, 2002). Sin embargo, cuando el objetivo es caracterizar los fondos marinos a través de su respuesta acústica como base para el cartografiado de hábitats, es necesario distinguir si la causa del aumento en la reflectividad se debe a las emisiones de fluidos o a la presencia de carbonatos autigénicos, ya que cada uno puede dar lugar a hábitats muy diferentes (Rueda *et al.*, 2012).

En este sentido, el presente trabajo demuestra que el análisis conjunto de la respuesta acústica y la textura del sedimento permite distinguir si una alta reflectividad es debida a un mayor contenido de sustratos de gran tamaño de grano (principalmente carbonatos autigénicos) o a la presencia de fangos

cargados de gas. Por tanto, este estudio ha permitido definir una anomalía de la reflectividad causada por las emisiones de fluidos, algo imprescindible para elaborar futuros mapas de hábitats precisos en zonas de expulsión de fluidos usando modelación.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a datos procedentes de los proyectos Inventario y Designación de la Red Natura 2000 Marina en España. INDEMARES-LIFE+ 07/NAT/E/000732: Chimeneas de Cádiz LIFE+ INDEMARES e ISUNEP-CA (Estimación de la abundancia de cigala *Nephrops norvegicus* en el Golfo de Cádiz a través de imágenes submarinas), realizado gracias a la ayuda concedida por la Fundación Biodiversidad y el Fondo Europeo de la Pesca. Asimismo, agradecemos a la Dr. G. Ercilla la cesión de los datos de las campañas GC-86-2 y GC-88-3 realizadas por el Grupo Márgenes Continentales del ICM-CSIC y disponibles en: (<http://www.icm.csic.es/geo/gma/SurveyMaps/>).

REFERENCIAS

- Brown, C.J., Todd, B.J., Kostylev, V.E. & Pickrill, R.A. (2011). Image-based classification of multibeam sonar backscatter data for objective surficial sediment mapping of Georges Bank, Canada. *Continental Shelf Research*, 31(2), 110-119.
- Folk, R.L. (1954). The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. *Journal of Geology*, 62 (4), 344-359.
- Lamarche, G., Lurton, X., Verdier, A.L. & Augustin, J.M. (2011). Quantitative characterisation of seafloor substrate and bedforms using advanced processing of multibeam backscatter—Application to Cook Strait, New Zealand. *Continental Shelf Research*, 31(2), 93-109.
- Naudts, L., Greinert, J., Artemov, Y., Beaubien, S.E., Borowski, C. & De Batist, M. (2008). Anomalous seafloor backscatter patterns in methane venting areas, Dnepr paleo-delta, NW Black Sea. *Marine Geology*, 251(3-4), 253-267.
- Orange, D.L., Yun, J., Maher, M., Barry, J. & Greene, G. (2002). Tracking California seafloor seeps with bathymetry, backscatter and ROVs. *Continental Shelf Research*, 22(16), 2273-2290.
- Rueda, J.L., Díaz del Río, V., Sayago-Gil, M., López-González, N., Fernández-Salas, L.M. & Vázquez, J.T. (2012). Fluid Venting Through the Seabed in the Gulf of Cadiz (SE Atlantic Ocean, Western Iberian Peninsula): Geomorphic Features, Habitats, and Associated Fauna. In: Peter T. Harris and Elaine K. Baker (eds.). *Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat*, 831-841.